引文格式：刘小情,王明军,李巧霞,等. 地图点要素多级多方位注记配置方法研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(4):7-11. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.04.002

地图点要素多级多方位注记配置方法研究

刘小情[1]，王明军[1,2,3]，李巧霞[3,5]，任　福[1,2,3,4*]，鲁　勇[1]

（1. 武汉大学 资源与环境科学学院，湖北 武汉 430079；2. 武汉大学 地理信息系统教育部重点实验室，湖北 武汉 430079；
3. 自然资源部数字制图与国土信息应用重点实验室，湖北 武汉 430079；
4. 地球空间信息技术协同创新中心，湖北 武汉 430200；5. 湖北省地图院，湖北 武汉 430074）

摘　要：现有使用最为广泛的固定模型和滑动模型都存在未充分利用图面空间、难以实现点要素注记的充分配置的问题，在一定程度上影响了注记配置的结果。针对点要素注记配置问题，提出了采用多种注记方式的多级多方位注记候选位置模型，并以该模型为基础，提出了地图点要素多级多方位注记配置方法。该方法以多级多方位注记候选位置模型为基础，构建候选位置评价函数，指导注记配置位置选择，并从注记灵活性和干扰性出发优化注记配置次序。结合设计思想，在CorelDRAW二次开发环境下实现了注记自动配置，并在该软件下进行实验验证。实验表明，在同一图幅内有208~1 598个点要素注记的情况下，与固定模型和滑动模型相比，该方法提高了5.29%~12.89%的注记配置比例。该方法充分利用图面空间，提高了注记配置比例，有利于减少注记配置过程中的人机交互操作，在一定程度上可提高地图制图的自动化水平。

关键词：点要素注记配置；注记候选位置模型；注记质量；注记次序

中图分类号：P283　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1672-4623（2025）04-0007-05

Research on Multi-level and Multi-orientation Label Placement Method of Map Point Element

LIU Xiaoqing[1], WANG Mingjun[1,2,3], LI Qiaoxia[3,5], REN Fu[1,2,3,4], LU Yong[1]

(1. School of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
3. Key Laboratory of Digital Cartography and Land Information Application, Ministry of Natural Resources, Wuhan 430079, China;
4. Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430200, China;
5. Map Institute of Hubei Province, Wuhan 430074, China)

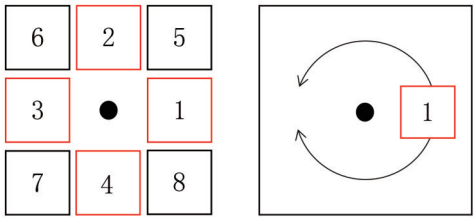
Abstract: Fixed-position model and slider model are mainly used in previous researches, which affect the labeling result in the case of dense point elements. In this content, we put forward a label placement method of map point element based on the multi-level and multi-orientation label candidate location model. This method considers label placement quality factors such as label-label overlap, label-feature overlap, candidate location optimal level and label-feature association to select candidate location, and optimizes the label placement order from the aspects of label flexibility and label interference. Combined with the design idea, we realized the automatic label placement under CorelDRAW, and carried out experimental verification under this software. The experiment shows that in the case of 208~1 598 point elements in the same map frame, the method improves the label placement ratio by 5.29%~12.89%, compared with the fixed-position model and the slider model. This method makes full use of the map space, improves the proportion of label placement, helps to reduce the human-computer interaction operation in the process, and improves the automation level of map cartography to a certain extent.

Key words: point element label placement, label candidate location model, label quality, label order

地图注记配置是地图制图过程中的一个复杂而繁琐的工作，是实现自动制图的难点之一[1]。点要素空间关系复杂、注记配置影响因素众多，点要素注记自动配置是地图注记自动配置中的研究热点。目前，点要素注记配置的研究主要分为2个方面：注记候选位置模型和配置方法。点要素注记配置方法需要选择合适的候选位置模型，常见的注记候选位置模型有固定模型和滑动模型。固定模型是指每个点要素有固定数目的几个固定位置作为注记候选位置，比如四位置模型[2]、八位置模型等[3]，其中四位置模型是最广泛使用的固定模型[4]，其模型如图1a所示；滑动模型是指在保证注记文本框边缘接触点要素的基础上，注记沿

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42071448）。
第一作者简介：刘小情（1999—），硕士研究生，主要研究方向为地理数据空间分析与地图制图，E-mail：danicaliu@whu.edu.cn。
通信作者：任福（1976—），博士，教授，主要研究方向为地理信息系统智能服务、智能专题地图制图，E-mail：renfu@whu.edu.cn。

着一个或者多个方向连续滑动[5]，滑动模型如图1b所示。对于点要素注记配置方法的研究，有基于回溯算法[6]、蚁群算法[7-8]、模拟退火算法[9-10]、遗传算法[11]、禁忌搜索算法[12-13]等算法实现点要素注记自动配置，以上算法大多基于固定模型而设计。固定模型的优势在于简化了问题，便于结合各种组合寻优算法求解。相较于固定模型，滑动模型能更好地利用点要素周围空白区域。但由于以上2种模型均采用单一注记方式，在自动制图工作中于点要素密集区域不能充分利用图面空间，难以实现点要素注记的充分配置，后续仍需要大量人工操作。



a 四位置/八位置固定模型　　b 滑动模型

图1　常见注记候选位置模型

在此背景下，为实现点要素注记的充分配置，本文构建多级多方位注记候选位置模型，提出了地图点要素多级多方位注记配置方法。为充分利用图面空间，该方法采用注记配置中常用的多种注记方式，融合固定模型和滑动模型的特点，并考虑注记质量因素、优化注记配置次序，实现注记自动化配置。

1　多级多方位注记候选位置模型

注记候选位置模型会直接影响注记算法的实现方式和注记配置质量，注记候选位置模型的选择是注记配置的重要基础之一[14-15]。一般而言，注记候选位置越多，注记配置灵活性越高，与此同时注记配置复杂性也会提高。因此，需要在保证一定数量候选位置的同时，尽量减少不必要的候选位置。

地图注记配置中，点要素注记一般选择配置在对应点要素周边区域，并尽量靠近点要素，确保要素与注记之间具有明确的关联性。同时注记不能与其他地图注记发生冲突，并尽量减少注记与其他要素的压盖。点要素注记一般采取水平字列排列方式，少数用水平字列不好配置的点要素注记也可使用垂直字列排列方式[16]。当以上2种方式都无法配置注记时，可采用引线-水平字列组合方式进行补充，3种方式如图2所示。在此配置原则基础上，采用水平环绕式、垂列式、引线式3种类型注记配置方式，生成多个候选位置，构建多级多方位注记候选位置模型。

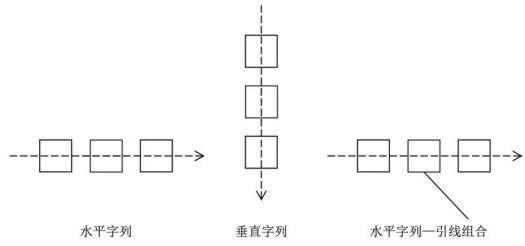
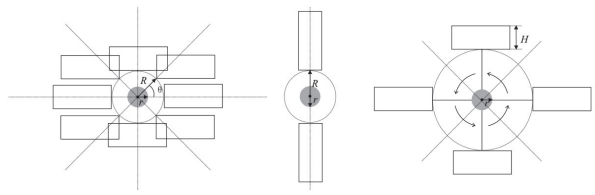


图2　注记排列方式

多级多方位注记候选位置模型分为常规级、次常规级、补充级等三级，如图3所示。



a 常规级　　b 次常规级　　c 补充级

图3　多级多方位注记候选位置模型

1）常规级。顾及注记位置选择的灵活性和运算量，常规级采用水平环绕式注记配置方式，融合固定模型和滑动模型2种的特点，以半径为 R 的圆为滑动区域，等分角 θ 为45°，构建八方位常规级模型，如图3a所示。其中半径 R 须大于点要素符号化区域半径 r。

2）次常规级。次常规级采用垂列式注记配置方式，考虑自上而下是人正常的阅读习惯，生成与待配置注记点要素中心距离为 R 的正上方和正下方2个候选位置，如图3b所示。

3）补充级。补充级采用引线式注记配置方式。在引线注记配置中，有以下原则：①引线应尽量短且直；②引线应避免压盖其他点要素或注记。基于引线配置原则，以半径逐级递增的圆为滑动轨迹，生成候选位置，如图3c所示。需要采用引线式进行注记配置的点要素注记四周必然存在密集的点要素及注记，引线初始长度过大，会造成注记指向不明确，且引线最大长度不宜过长，因此需为滑动圆设置合理的初始半径 R_S 和终止半径 R_E。其中，R_S 和 R_E 可根据地图点要素复杂程度和制图者制图经验来定。

2　注记配置位置选取

为保证注记配置质量，需要根据一定的标准或指标，对每个候选位置进行评价，从而为每个点状要素选择最优的注记位置。本文提取出冲突、压盖、位置优先级和关联性等4个影响注记质量的重要因素，并通过构建候选位置评价函数定量描述这4个因素，作为指标指导注记配置位置的选择。

2.1　候选位置评价函数

1）冲突评价函数。注记与注记之间的重叠为注记冲突。注记冲突会导致注记信息无法清晰传播，在注记配置中是必须要消除的。本文构建0~1冲突评价函数，用0和1给注记冲突评分，0为无冲突，1为有冲突。

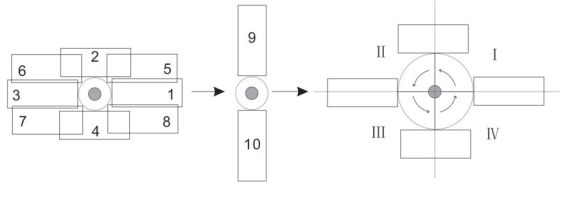
$$E_{\text{冲突}}=\begin{cases}0 & \text{无冲突}\\ 1 & \text{有冲突}\end{cases}$$

2）压盖评价函数。注记与要素之间的重叠为注记压盖。注记压盖分为2种情况：①必须消除的，例如注记与点要素之间的压盖；②不可避免的，例如注记与线要素、面要素之间的压盖。由于第2种情况不可避免，因此本文只考虑必须消除的第一种压盖情况。与冲突相似，构建1压盖评价函数，用0和1给注记压盖评分，0为无压盖，1为有压盖。

$$E_{\text{压盖}}=\begin{cases}0 & \text{无压盖}\\ 1 & \text{有压盖}\end{cases}$$

3）位置优先级评价函数。注记位置优先级是根据读图者对地图的视觉感受，从注记与点状要素的方位关系来评价候选注记位置的质量[17]。本文以多级多方位注记候选位置模型中各级模型的优先级为基础，构建分值逐个递增的位置优先级评价函数 $E_{\text{优先级}}$。常规级模型中候选位置的优先级评分从1到8逐个递增，次常规级模型中上下候选位置优先级分值分别为9和10，补充级模型中候选位置优先级分值从11开始随滑动顺序逐个加1，如图4所示。

$$E_{\text{优先级}}=k\quad k=1，2，3，4\cdots\cdots$$



a 常规级　　b 次常规级　　c 补充级

图4　候选位置优先级

4）关联性评价函数。该注记与相应点要素的距离小于该注记与其他点要素的距离，即注记关联性好，注记指向明确；反之，存在该注记与其他点要素的距离小于与相应点要素的距离，则注记关联性差，注记指向不明确。本文构建0~1关联性评价函数，用0和1给注记关联性评分，0为关联性好，1为关联性差。

$$E_{\text{关联性}}=\begin{cases}0 & \text{关联性好}\\ 1 & \text{关联性差}\end{cases}$$

2.2　配置位置选取流程

确定候选位置评价函数后，设计合理的配置位置选择流程。在对每个点要素进行注记配置时，按候选位置优先级评价函数分值从小到大的顺序遍历每个候选位置，利用格网空间索引，结合冲突评价函数、压盖评价函数和关联性评价函数，快速判断注记配置在该候选位置时是否存在注记冲突、压盖以及关联性好不好。若该候选位置不存在注记冲突、压盖且注记关联性好，则选择该候选位置进行注记配置，反之则继续遍历下一个候选位置，直至补充级模型滑动停止。

3　注记配置次序优化

注记之间具有干扰性，先配置的注记会对后续的注记配置产生干扰，因此，注记配置的次序会影响注记配置的结果[18]。优先配置可配置候选位置少的点要素注记可以避免注记被遮挡或重叠，而注记可配置候选位置数量相同时，若优先配置对其他注记干扰性大的点要素注记将减小被干扰点要素注记位置的可选择性。因此，优先配置可配置候选位置少且对其他注记干扰性小的点要素注记，有利于在有限的空间内获取最大化可注记数量[15]。由于注记自动配置过程中，绝大多数注记会以多级多方位注记候选位置模型中的常规级候选模型进行配置，本文以常规级候选位置模型为基础，定义注记灵活度 α_i 与注记干扰度 β_i 两个变量，分别对点要素注记配置的灵活性与点要素注记之间的干扰程度进行量化。

3.1　注记灵活度 α_i

注记配置灵活性描述了不压盖其他点要素符号、可选择的注记候选位置数量的多少。可选择的无压盖的注记候选位置数量越多，注记灵活性越高；反之，注记灵活性越低。以常规级候选位置模型为基础，定义二进制变量 θ_k 以描述优先级为 k 的候选位置是否压盖其他点要素。若 $\theta_k=0$，则表示优先级为 k 的候选位置压盖其他点要素，不可配置注记；若 $\theta_k=1$，则表示优先级为 k 的候选位置不压盖其他点要素，可配置注记。以无压盖的候选位置个数构建注记灵活度 α_i。

$$\alpha_i=\sum_{k=1}^{10}\theta_k$$

式中，注记灵活度 α_i 一定程度上描述了初始状态下各点要素注记配置的灵活性，数值越大说明点要素的注记配置的灵活性越大。

3.2　注记干扰度 β_i

注记配置干扰性是指注记之间在配置过程中存在相互影响和冲突。点要素注记干扰性的影响因素有很

多，包括点要素的密度、分布等空间特征，以及注记的长度、字大、方向、位置等相关特征。基于密度的聚类方法（density-based spatial clustering of applications with noise，DBSCAN）能有效揭示点要素空间分布规律，被广泛应用于点要素注记配置研究中[9]。考虑到注记相关特征，通常以注记候选区域为搜索半径，通过判断点是否落在另一点搜索半径范围内确定2点的注记配置是否存在干扰性。如图5所示，DBSCAN算法虽然能考虑到点与落入其搜索邻域之中的点之间注记配置的强干扰性，却会忽略与不在搜索邻域中但注记候选区域有重合的点之间的弱干扰性。

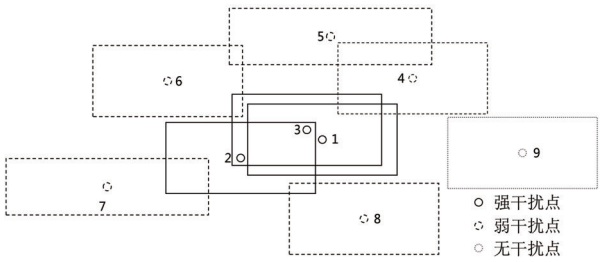


图5　点要素干扰性

根据干扰程度，将干扰点分为强干扰点和弱干扰点两类：落入搜索邻域之中的点为强干扰点，其形成的数据集合称为强干扰点集，记为 Ω_{SI}；不在搜索邻域中但注记候选区域有重合的点为弱干扰点，其形成的数据集合称为弱干扰点集，记为 Ω_{WI}。本文以常规级候选位置模型为基础，结合2种干扰点集的特性，引入注记干扰度描述任意一点对其他点要素注记配置的干扰程度，记为 β_i。

$$\beta_i=\omega_{SI}N_{SI}+\omega_{WI}N_{WI}$$

式中，N_{SI}、N_{WI} 分别为 Ω_{SI}、Ω_{WI} 的点要素数量；ω_{SI}、ω_{WI} 分别为强、弱干扰点的权重，$\omega_{SI}>\omega_{WI}$。

本文根据优先配置灵活性差、干扰性小的点要素注记的原则，将所有点要素先按照注记灵活度 α_i 从小到大排序；然后对相同注记灵活度 α_i 的点要素再按注记干扰度 β_i 从小到大排序。最后，按照重新排序后的结果进行注记配置。

4　实验与分析

本文基于CorelDRAW的VBA开发环境，引用CorelDRAW X8 Type Library控件进行二次开发，利用程序提供的开发接口函数进行组织和封装，并打包成独立的可用程序模块，嵌入CorelDraw软件主菜单中进行交互操作。实验数据采用国家1∶1 000 000公开数据的居民地点数据，在GIS软件中将其分为4级，模拟实际制图中居民地点要素等级选取，各级点要素类型及数目如表1所示。将分级后的居民地点数据导出，用于绘图交换文件（drawing exchange format，DXF），导入CorelDRAW中符号化。利用本研究开发的CorelDRAW注记配置工具进行注记配置时，须预设注记样式参数（包括字体、字号、字色、轮廓色、轮廓宽、文字旋转变换等），并以文本对象形式存储于模板图层之中，以便不同等级的点要素注记获取相应参数进行符号化，获取过程如图6所示。其中，地级行政中心注记、县级行政中心注记、乡级行政中心注记和行政村注记字号分别设置为17、15、12、10磅。对于实验结果，为便于量化，本文仅以无冲突压盖注记数量，即可配置注记数量，作为评价指标[18-19]。

表1　点要素分级

实验分级	点要素类型	点要素数目
L1	地级行政中心	23
L2	地级行政中心、县级行政中心	208
L3	地级行政中心、县级行政中心、乡级行政中心	839
L4	地级行政中心、县级行政中心、乡级行政中心、行政村	1 598

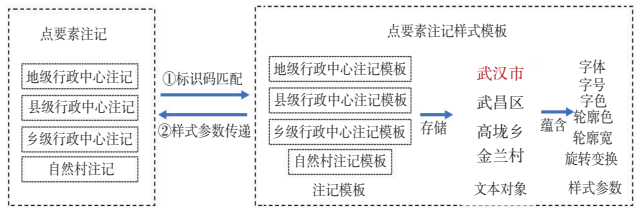


图6　注记样式参数获取示意图

本文采用现有研究中使用最为广泛的固定模型，和滑动模型与多级多方位注记候选位置模型进行对比。其中基于固定模型的算法中，模拟退火算法应用最为广泛，故固定模型采用该算法进行对比实验，参数参照文献[15][19]设置，表2展示了多级多方位注记候选位置模型注记、固定模型注记和滑动模型注记的最终对比统计结果。结果表明，与常用的固定模型和滑动模型相比，在需要配置注记的点要素密集的情况下，多级多方位注记候选位置模型具有一定优势。除了点要素稀疏的L1分级中3个模型注记配置比例都为100%，L2、L3、L4等3个点要素逐渐密集的实验分级中，相较于固定模型、滑动模型，多级多方位注记候选位置模型的注记配置比例有5.29%~12.89%不等的提升。

图7、8、9分别展示了L3分级下固定模型、滑动模型、多级多方位注记候选位置模型的注记配置结果。由对比结果可知，多级多方位注记候选位置模型

利用多种配置方式（水平环绕式、垂列式、引线式）进行注记配置，更大限度地利用了图面空间。固定模型和滑动模型因候选位置有限，当无可配置位置时，即会舍弃该注记，无法将重要的注记配置在图面上，而多级多方位注记候选位置模型利用垂列式配置方式充分利用狭长空白区域（如“九江市”、“江岸区”等注记）、利用引线配置方式充分利用点要素密集区周围空白区域（如“武汉市”、“上饶市”等注记）。

表 2　不同注记候选位置模型注记配置数目对比

实验分级	固定模型		滑动模型		多级多方位注记候选位置模型	
	注记配置数目	注记配置比例/%	注记配置数目	注记配置比例/%	注记配置数目	注记配置比例/%
L1	23	100	23	100	23	100
L2	190	91.35	195	93.75	206	99.04
L3	706	84.15	741	88.32	801	95.47
L4	1 279	80.04	1 355	84.79	1 485	92.93

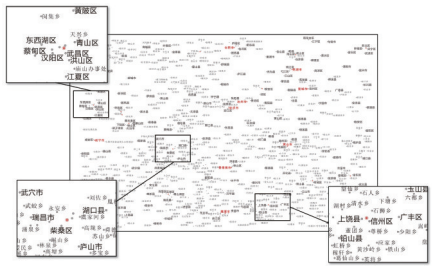


图 7　固定模型注记结果

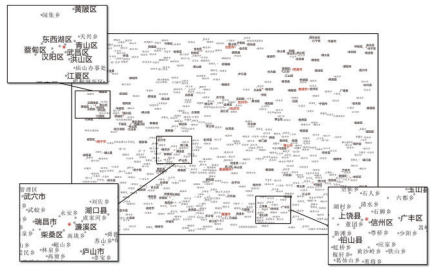


图 8　滑动模型注记结果

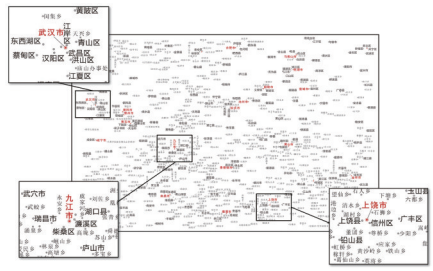


图 9　多级多方位注记位置候选模型注记结果

5　结　语

本文针对点要素注记配置问题，构建多级多方位注记候选位置模型，提出了地图点要素多级多方位注记配置方法。基于 CorelDRAW 的 VBA 环境进行二次开发，实现了注记自动配置，并利用公开 GIS 数据进行了实验验证。结果表明，该方法有效地利用了图面空间，提高了注记比例，可减少点要素注记配置过程中的人机交互操作，对此类软件环境下地图制作自动化程度的提升有着重要的作用。

参考文献

[1] Christensen J, Marks J, Shieber S. An Empirical Study of Agorithms for Point-feature Label Placement[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 1995, 14(3):203-232

[2] 房雪玲. 基于CorelDRAW的地图注记自动化配置方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(11):210-212

[3] 汪有为, 蔡忠亮, 文婷, 等. Adobe Illustrator环境下的地图注记智能化配置方法[J]. 测绘科学, 2020, 45(5):159-164

[4] 彭珊鸽. 地形图注记智能化配置研究[D]. 武汉:武汉大学, 2010

[5] Kreveld V M, Strijk T, Wolff A. Point Labeling with Sliding Labels[J]. Computational Geometry: Theory and Applications, 1999, 13(1):21-47

[6] 王峰, 薛智勇, 苏志军. 基于改进包络回溯算法的点注记自动配置[J]. 地理空间信息, 2012, 10(3):54-56

[7] 彭珊鸽, 宋鹰, 吴凡. 基于蚁群算法的点状注记智能化配置[J].测绘科学, 2007, 31(5):80-81

[8] 周鑫鑫, 孙在宏, 吴长彬, 等. 地图点要素注记自动配置中聚类分组的蚁群算法应用[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(8):902-908

[9] 杜维. 基于模拟退火算法的地图点状要素注记配置研究[D].武汉:武汉大学, 2005

[10] 杨涛. 基于粒子群退火的高密度目标注记配置 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (15): 182-187

[11] 王志杰. 基于遗传算法的点状要素注记配置设计与实现[D].成都:电子科技大学, 2012

[12] 郑春燕, 郭庆胜, 刘小利. 基于禁忌搜索算法的点状要素注记的自动配置[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(5): 428-431

[13] 杨勇, 邓淑丹, 李霖, 等. 基于禁忌搜索的点状注记研究[J]. 测绘科学, 2007, 31(6):46-48

[14] Klau W G, Mutzel P. Optimal Labeling of Point Features in Rectangular Labeling Models [J]. Math. Program, 2002, 94(2-3):435-458

[15] 曹闻, 彭斐琳, 童晓冲, 等. 顾及空间分布与注记相关性的点要素注记配置算法[J]. 测绘学报, 2022, 51(2):301-311

[16] 何宗宜, 宋鹰, 李连营. 地图学[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2016

[17] 娄倩, 张慧霞, 郭建忠, 等. 地图注记质量评价模型的建立[J].测绘科学, 2012, 37(1):125-127

[18] 李霖, 张航, 朱海红, 等. 基于可移动区域的点状要素注记配置[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(8):1 129-1 137

[19] Rabello R L, Mauri G R, Ribeiro G M, et al. A Clustering Search Metaheuristic for the Point-feature Cartographic Label Placement Problem[J].European Journal of Operational Research, 2014, 234(3):802-808